

Oppdragsrapport fra Skog og landskap 24/2008

JORDSMONN UTVIKLET I MARIN LEIRE I ØSTFOLD – EGENSKAPER, OPPTREDEN OG UTBREDELSE

Åge A. Nyborg



skog+
landskap



Oppdragsrapport fra Skog og landskap 24/2008

JORDSMONN UTVIKLET I MARIN LEIRE I ØSTFOLD – EGENSKAPER, OPPTREDEN OG UTBREDELSE

Åge A. Nyborg

ISBN 978-82-311-0071-3

Omslagsfoto viser en fjellblotning med helleristninger omgitt av planert leirjord. Foto: Åge A. Nyborg ©

Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO-1431 Ås

SAMMENDRAG

I forbindelse med bevaring av helleristninger langs E-6 traseen gjennom Østfold, ble i 2006 marin leire brukt som en del av dekkmaterialet som ble lagt over disse lokalitetene. For å sikre bevaring av helleristningene over lang tid ble det spesifisert hvilke fysiske og kjemiske egenskaper denne leira skulle ha. Undersøkelser av jordsmonn utviklet i tilsvarende marin leire fra Østfold og tilgrensende områder viser at undergrunnsleire som ikke er påvirket av jordsmonnprosesser oppfyller disse kravene. Viktige egenskaper i denne sammenhengen er nøytral pH, gode buffer-egenskaper, lavt innhold av salter og organiske stoffer, lav vannledningsevne, høy vannlagrings-evne hvor adsorbert vann utgjør den største andelen og en plastisk konsistens.

Nøkkelord: Helleristninger, marin leire, jordsmonn, jordegenskaper, Østfold

INNHold

1. Innledning	1
2. Definisjoner	1
3. Jordsmonnutvikling i marin leire	2
4. Klassifikasjon og utbredelse	3
4.1. Gleysols.....	3
4.2. Stagnosols	4
4.3 Albeluvisols.....	4
4.4 Cambiosols.....	4
4.5 Planert leire.....	4
5. Kjemiske og fysiske egenskaper.....	5
5.1 Mekanisk sammensetning.....	5
5.2 Innhold av organisk karbon.....	5
5.3 Innhold av sulfider.....	5
5.4 Kationbyttekapasitet, basematning og pH.....	6
5.5 Struktur, porevolum og jordtetthet.....	6
5.6 Mettet vannledningsevne.....	7
5.7 Vannlagringsevne.....	8
6. Vegetasjon.....	9
7. Konklusjon og anbefaling.....	9
Referanse	10
Vedlegg	11

1. INNLEDNING

I forbindelse med bevaring av helleristninger langs E-6 traseen gjennom Østfold, ble marin leire i 2006 brukt som en del av dekkmaterialet som ble lagt over disse lokalitetene. Store deler av Østfold fylke er dekket av marin leire og egenskapene til leira varierer både geografisk (horisontalt) og dybdemessig (vertikalt). Dette dokumentet gir en beskrivelse av marin leire i Østfold fra et jordfaglig perspektiv. Ved hjelp av data fra flere jordprofiler blir de viktigste kjemiske, fysiske og morfologiske egenskapene til leirjordsmonn beskrevet. Informasjon om opptreden og utbredelse er hentet fra "Jordsmonnatlas for Østfold" (3) og Skog og landskaps jordsmonn-database (7).

2. DEFINISJONER

Begrepet *leire* har flere betydninger avhengig av hvem som bruker det og hvilken sammenheng det blir brukt i. Folk flest deler ofte leire inn etter farge (blåleire, hvitleire, rødleire). Disse fargene representerer vanligvis forskjellig grad av jordsmonnutvikling, hvitleire fra utvaskingssjiktet, rødleire fra utfellingssjiktet og blåleire fra den upåvirkede undergrunnsleira (se avsnitt 3 for nærmere forklaring). I mange tilfeller kan også blågrå silt og finsand bli kalt leire. Geoteknikere kan snakke om svelleleire og kvikkeleire, mens bonden kan si at leirjorda er tung, seig, hard eller stiv. I dette dokumentet kan ordet leire også ha flere betydninger. Jeg vi derfor starte med å forklare de forskjellige betydningene.

- I jordfaglig sammenheng er *leir* en kornstørrelse som har en diameter mindre enn 0,002 mm. Mengdeforholdet mellom *leir* og de andre kornstørrelsene *silt* og *sand* utgjør jordas mekaniske sammensetning eller *tekstur*. Teksturen kan plottes i et trekantdiagram (se vedlegget) som igjen kan deles inn i områder eller *teksturklasser*. Åtte av disse klassene er *leirer* med varierende innhold av sand, silt og leir. Mest vanlig er *siltig lettleire*, *lettleire*, *siltig mellomleire* og *stiv leire*. De norske teksturklassene er utviklet av Njøs og Sveistrup (2).
- I kvartærgeologien omtales leire både som en tekstur og som en jordart eller avsetningstype. *Marine leirer* er hav- eller fjordavsetninger. De består hovedsakelig av leir og silt og har lavt sandinnhold. *Moreneleirer* er usorterte og inneholder sand og grus i tillegg til leir. De er svært lite utbredt i Østfold og er kun observert utenfor Raet i Rygge. På grunn av det høye innholdet av grove fragmenter, er de mer permeabel enn marin leire og lite egnet i denne sammenhengen. *Ferskvannsleirer* avsettes i innsjøer og har i enkelte tilfeller svært høyt leirinnhold. De kan også være lagdelte og inneholde organiske lag (gyttje) og er derfor heller ikke egnet i denne sammenhengen. I dette dokumentet er det derfor kun marin leire som omtales.
- *Leirmineraler* er en gruppe mineraler som hører til under fyllosilikatene, også kalt sjiktgittersilikatene. De er nedbrytingsprodukter fra andre mineraler, som for eksempel glimmer og feltspat, og har varierende egenskaper avhengig av kjemisk innhold og krystallinsk struktur. Illitt, eller hydroglimmer, er et av de vanligste leirmineralene i norsk marin leire. Det har god evne til å lagre vann, men sveller ikke slik som Montmorillonitt og andre smektitter.

3. JORDSMONNUTVIKLING I MARIN LEIRE

Jordsmonnutviklingen i marin leire på Østlandet begrenser seg ofte til de øvre 0,5 – 1,5 meter og er stort sett avhengig av tre faktorer. Den topografiske plasseringen i landskapet, alderen på landskapsoverflaten og ikke minst den menneskelige påvirkningen.

På grunn av den isostatiske landhevingen etter siste istid kan vi finne marin leire helt opp til 200 meters høyde i Østfold. Det yngste jordsmonnet har kun utviklet et humussjikt eller et plogsjikt over upåvirket leire. Det finnes på de ytterste leirslettene ved kysten eller i forbindelse med leirskred eller planeringer ellers i fylket. I forsenkninger og ellers hvor grunnvannspeilet står eller har stått nært overflata, finner man ofte humusrike eller organiske overflatesjikt over upåvirket leire (se Gleysols under).

Forvitring og utvasking av basiske kationer starter i overflatesjiktet når grunnvannsnivået synker og vegetasjonen etablerer seg. Basemetningen (se avsnitt 5.4.) avtar med tid i de øverste sjiktene mens pH etter hvert vil stabilisere seg på grunn av leiras bufferegenskaper. Årlige klimavariasjoner og biologisk aktivitet vil føre til dannelsen av jordstruktur, og etter omtrent 3500 år vil også leirpartikler rives løs og transporteres nedover i leira hvor de blir avsatt på veggene i sprekker og porer (4). Den eldste leirjorda i Østfold er omtrent 11 000 år gammel og finnes langs Øyeren i Trøgstad. Den har et lyst utvaskingssjikt som går ned til 50 cm dybde og sprekker med leirbelegg som går dypere enn en meter. Tabellen under gir en forklaring på hvilke sjikt en kan finne i leirjord, mens neste avsnitt tar for seg jordsmonnklassifikasjon og hvordan disse leirjordtypene klassifiseres.

Jordsmonnsjikt	Beskrivelse
O-sjikt	Organisk jord, vanligvis mer enn 20 % organisk materiale
A-sjikt	Humussjikt (A) eller plogsjikt (Ap), overflatesjikt
E-sjikt	Utvaskingssjikt, bleikjord (hvit leire). Sjiktet er porøst og permeabelt grunnet strukturutvikling, forvitring og utvasking av stoffer og partikler
B-sjikt	Utfellings- eller anrikningssjikt. Kan være gul, brun eller rødfarget grunnet utfelte jernoksider, eller ha høyere leirinnhold enn sjiktene over grunnet anrikning av nedvaskete leirpartikler.
BC-sjikt	Overgang mellom B og C-sjikt der leira gradvis blir mer massiv med dybden
C-sjikt	Undergrunnsleire uten jordsmonnutvikling. Har vanligvis blå, grå eller grønn farge.
Alle mineral-jordsjikt	Kan ha rustfargete flekker som skyldes vekslings mellom oksidert og redusert miljø ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) og mørke Mn-oksider utfellinger

4. KLASSIFIKASJON OG UTBREDELSE

Skog og landskap bruker det internasjonale klassifikasjonssystemet World Reference Base for Soil Resources (WRB) for å skille ulike typer jordsmonn (1). WRB danner grunnlaget for enhetene i jordsmonnkartene som er tilgjengelig på internett (7). For Østfold sin del er all jordbruksjord kartlagt i målestokk 1:15 000. På øverste nivå deler WRB jordsmonnet inn i grupper etter de viktigste jordsmonndannende faktorer og prosesser. I Østfold er 13 WRB-grupper blitt kartlagt, men kun fire av dem inneholder jordsmonn utviklet i marin leire. I tillegg er en betydelig del av det marine leirlandskapet planert. Prosentandelen av disse fire gruppene og planert jord på dyrka mark i Østfold er oppsummert i tabellen under mens en kort beskrivelse av dem følger. De viktigste kjemiske og fysiske egenskapene er beskrevet i avsnitt 5.

WRB-gruppe	Kort karakteristikk	Marin leire som opphavs-materiale (%)	Andre opphavs-materialer (%)
Albeluvisols	Modent jordsmonn med et lyst utvaskings-sjikt over et leiranrikningssjikt. Har dyptgående, ofte vannførende, lyse sprekkesoner (tunger)	35,8	0,3
Stagnosols	Relativt ungt jordsmonn som er periodevis vannmettet av vann fra overflata grunnet dårlig permeabilitet	22,9	8,9
Gleysols	Ungt jordsmonn med liten grad av jordsmonn-utvikling grunnet periodevis høyt grunnvanns-nivå. Ofte høyt organisk innhold i overflatesjikt	5,8	1,9
Cambisols	Selvdrenert jordsmonn med et porøst og ofte gulbrunt eller rødbrunt farget utfellings-sjikt	0,1	4,3
Andre WRB-grupper	-	0,0	8,6
Planert jord	Består av eksponert undergrunnsjord (skjæring) eller en blanding av de originale sjiktene (fylling)	11,0	0,6
Alt jordbruksareal		75,5	24,5

4.1. Gleysols

Gleysols består av jordsmonn som er eller har vært grunnvannspåvirket innen 50 cm dybde. Gleysols dannet i marin leire har ofte et matjordlag med høyt innhold av organisk materiale som ligger på upåvirket og relativt massiv, blågrå leire. I udyrket tilstand har de ofte et tynt organisk sjikt i toppen. De opptrer i lavtliggende flate områder og i forsenkninger. På dyrka mark er de grøftet.

På dyrka mark i Østfold er Gleysols mest utbredt utenfor Raet hvor de dekker 18 prosent av jordbruksarealet. Utbredelsen er størst i Råde, Sarpsborg og Halden hvor vi finner dem på store, flate leirsletter. Gleysols finnes også i Degernes i Rakkestad og langs Haldenvassdraget og dekker totalt åtte prosent av jordbruksarealet i fylket.

4.2. Stagnosols

Stagnosols består av jordsmonn som har dårlig evne til å drenere bort overflatevann. Årsaken kan være tette sjikt som hindrer vannet i å drenere ut, eller mangel på vannførende porer som resulterer i lav vannledningsevne. Begge disse tilfellene er vanlige i Østfold. Det kan være tynne lag med strandsedimenter (sand) som ligger på massiv leire, eller leirjord hvor leirinnholdet øker med dybden. I det sistnevnte tilfellet kan jorda være relativt porøs i de øvre 30 til 50 cm, men vannledningsevnen avtar med dybden. Stagnosols kan opptre både på flat mark og i hellinger. De er relativt unge jordsmonn, enten på grunn av beliggenheten (nær havnivå) eller fordi den originale overflaten er fjernet gjennom erosjon, leirskred og lignende.

I likhet med Gleysols er det på leirslettene utenfor Raet Stagnosols er mest utbredt. De dekker hele 54 prosent av jordbruksarealet i denne delen av fylket. Stagnosols har også stor utbredelse i resten av fylket og dekker totalt nesten en tredjedel av Østfolds jordbruksareal.

4.3. Albeluvisols

Albeluvisols ligner litt på Stagnosols egenskapsmessig, men har en mer dyptgående jordsmonnutvikling. Den har et lyst utvaskingssjikt under humussjiktet hvor forvittringsprodukter og leirpartikler er blitt vasket ut. Leirpartiklene er avsatt som belegg på porevegger og i sprekker i sjiktene under. Karakteristisk for Albeluvisols er at utvaskingssjiktet følger vertikale sprekker hvor også vann og røtter kan trenge ned. I et vertikalt snitt i jordsmonnet kan man se lyse tunger av dette sjiktet trenge ned i gråbrun leire. Sprekkesystemet avgrenser store prizmer som er relativt utilgjengelig for vann og røtter. I flate og svakt hellende områder har også Albeluvisols dreneringsproblemer og har da i likhet Stagnosols behov for grøfting. I mer hellende terreng har Albeluvisols som regel bedre dreneringsegenskaper.

I følge en tysk undersøkelse fra Østfold tar det 4000 til 5000 år å utvikle de karakteristiske Albeluvisoltungene (4). Vi finner derfor denne typen jordsmonn på eldre landskapsoverflater. I Østfold dominerer Albeluvisols i de indre leirjordsbygdene, men de er relativt lite utbredt utenfor Raet. Totalt dekker Albeluvisols 36 prosent av jordbruksarealet i Østfold og over 90 prosent av dette arealet ligger innenfor Raet.

4.4. Cambisols

Cambisols består av selvdrenert jordsmonn som har et porøst utfellingssjikt med god vannledningsevne og relativt god evne til å lagre plantetilgjengelig vann. Cambisols med marin leire som opphavsmateriale er relativt sjeldne, og i Østfold dekker de mindre enn en prosent av jordbruksarealet.

4.5. Planert leire

Nesten 12 prosent av jordbruksarealet i Østfold er planert og nesten hele dette arealet består av marin leire. Det originale jordsmonnet på størstedelen av dette arealet har antagelig tilhørt Albeluvisols siden over 90 prosent av det planerte arealet ligger innenfor Raet. Planering er et

fysisk inngrep der overflaten jevnes ut slik at arealet lettere kan drives maskinelt. Ofte er det raviner som planeres. Den planerte jorda kan dermed enten bestå av undergrunnsleire hvor bulldoseren har fjernet masse, eller av fyllmasser fra de bulldoserte områdene. Den siste varianten vil ligne mest på de leirfyllingene som planlegges som dekke for helleristninger.

5. KJEMISKE OG FYSISKE EGENSKAPER

Marin leire er i utgangspunktet næringsrik. Under naturlig vegetasjon er det graden av forvitring og utvasking som påvirker de kjemiske egenskapene. Etter oppdyrking blir disse egenskapene forstyrret av jordbruksdriften. De fysiske egenskapene er påvirket av graden av strukturutvikling, biologisk aktivitet og ikke minst, maskinelt jordbruk.

For å beskrive de kjemiske og fysiske egenskapene har jeg plukket ut 13 profilbeskrivelser som representerer de viktigste jordsmonntypene, Stagnosol og Albeluvisol, samt planert leire. Alle profilene stammer fra forskningsprosjekter eller studentoppgaver og representerer leirjordsområdene på Sørøstlandet. Jordprøvene som er tatt ut representerer de viktigste sjiktene ned til en meter dybde. I omtrent halvparten av profilene er det upåvirkede C-sjiktet, eller overgangen til det, også prøvetatt. For kjemisk og mekanisk analyse er det tatt ut samleprøver fra hvert sjikt. Uforstyrrede prøver til jordfysiske analyser er tatt ut i stålsylindere med kjent vekt og volum. Den følgende beskrivelsen av typiske egenskaper er basert på data fra disse profilene (se vedlegg).

5.1. Mekanisk sammensetning

En typisk marin leire fra Østfold har leirinnhold mellom 20 og 50 prosent og siltinnhold mellom 40 og 80 prosent. Leirinnholdet øker med dybden mens sandinnholdet er høyest i overflatesjiktet. Profil 2 og 3 ligger begge i nærheten av randmorener og har derfor høyere sandinnhold enn de andre profilene. Den vanligste teksturen er siltig mellomleire med et gjennomsnittlig leirinnhold som øker fra 28 prosent i overflatesjiktet til litt over 40 prosent ved en meter dybde. Gjennomsnittlig siltinnhold ligger mellom 54 og 57 prosent. Grove fragmenter som grus og stein er vanligvis fraværende i marin leire, men kan observeres i leirjord som ligger nær randmorener som Raet, Onsøytrinet og Ås-Ski trinnene.

5.2. Innhold av organisk karbon

I udyrket tilstand er mengden av organisk karbon i jorda påvirket av topografiske forhold og jordas naturlige dreneringsegenskaper. Etter oppdyrking vil jordbrukspraksisen spille en stor rolle. Grøfting, bruk av naturgjødsel, ensidig dyrking, jordarbeiding og erosjon fra åpen åker vil forstyrre den naturlige karbonbalansen. Jordsmonn i marin leire har vanligvis lavt innhold av organisk materiale i matjordlaget og er relativt fri for organisk materiale i sjiktene ned mot 100 cm dybde. Dette gjelder også de profilene som omtales her. Det meste av den marine leira i Østfold er såkalt ishavsleire. Det vil si at sedimenteringen av leirpartiklene skjedde utenfor iskanten i en tid da det ikke var vegetasjon tilstede.

5.3. Innhold av sulfider

Det er svært liten sjanse for at marin leire fra Østfold skal innholde redusert svovel i form av jernsulfider. Leirsedimentene inneholder jern som kan reduseres og sjøvannet inneholder sulfater, men for at det skal dannes jernsulfider, må følgende forhold være oppfylt:

- Det må være anaerobe forhold og anaerobe, sulfatreduserende mikroorganismer må være tilstede
- Det må være organisk materiale tilstede (energi for mikroorganismene)
- Prosessen må foregå på en tidevannsslette hvor det basiske bikarbonatet som dannes kan bli vasket bort.

Det rette miljøet for dannelsen av jernsulfider i leire er på brakkvanns-tidevannssletter med sakte sedimentasjon av leirpartikler og vegetasjon tilstede. Mangrovesumper er et typisk eksempel. Slike forhold finner vi også rundt indre deler av Østersjøen hvor blant andre finske geologer har beskrevet leirjord med jernsulfider (6). I denne jorda var pH rundt 3,5 helt ned til 150 cm dybde, mens karboninnholdet var over en prosent i alle sjikt. Marin leir i Østfold har derimot mindre enn 0,5 prosent karbon ved en meter dybde og pH i drenert jord er nøytral ved samme dybde.

5.4. Kationbyttekapasitet, basemetning og pH

Kationbyttekapasiteten (CEC) er jordas evne til å binde til seg kationer, eller rettere sakt, hvor stor mengde kationer som skal til for å nøytralisere de negative ladningene i jorda. Leirpartiklene er negativt ladet og har stor spesifikk overflate. Leirjord har derfor stor kationbyttekapasitet i forhold til for eksempel sandjord, og har derfor god evne til å bufre pH. Basemetningen (B.met) angir forholdet mellom ombyttbare basiske kationer (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} og Na^{+}) og sure kationer (H_3O^{+} og andre). Det er derfor en viss sammenheng mellom basemetning og pH. Når kationbyttekapasiteten domineres av basiske kationer, har vi en høy basemetning og en relativt høy pH.

Jordsmonn utviklet i marin leire i Norge har vanligvis CEC verdier rundt 20 meq/100g jord*. Den er ofte høyest i matjordlaget hvor organisk materiale også bidrar til høy CEC. I sjiktene under matjordlaget er CEC godt korrelert med leirinnholdet.

I udyrket tilstand har Albeluvisols lav basemetning i sjiktene nær overflata. Etter dyrking bidrar gjødsling og kalking til at basemetningen vanligvis øker til over 50 % også i matjordlaget. Den avtar i utvaskingssjiktet under og øker igjen nedover mot C-sjiktet. Stagnosols utviklet i marin leire har ofte naturlig høy basemetning i overflatesjiktene grunnet liten grad av utvasking. I all leirjord øker basemetningen ned mot den upåvirkete leira og er ofte mellom 80 og 100 prosent ved 100 cm dybde. I profilene under er gjennomsnittlig basemetning i sjiktene mellom 50 og 100 cm dybde 82 prosent med 77 prosent som laveste verdi. pH i de samme sjiktene varierer fra 6,0 til 7,6 med 6,9 som median.

Gleysols, som det ikke er eksempler fra i datasettet under, har ofte basemetning på 100 prosent nær overflata. Gleysols som opptrer på unge tidevannssletter nær dagens havnivå, kan inneholde salter og/eller skjellfragmenter og derfor ha en basisk pH-verdi.

* 1 meq = 1 milliekvivalent = ladning som tilsvarer 1 milligram H^{+} , som er en standard enhet siden kationer varierer i vekt og ladning. Sand har ofte CEC verdier som er mindre enn 1 meq/100 g jord, mens organisk jord kan ha verdier over 100.

5.5. Struktur, porevolum og jordtetthet

Porevolum og jordtetthet er jordfysiske egenskaper som blant annet er påvirket av jordstrukturen. Jordstruktur består av naturlige aggregater sammensatt av mineraljordpartikler og organisk materiale som dannes ved repeterende prosesser som frysing og tining, tørking og oppfukning, og ikke minst, biologisk aktivitet. Strukturaggregatene har forskjellig form, størrelse og grad av utvikling. I matjordlaget kan man ofte se små grynformete aggregater eller terningformete blokker.

I E- og B-sjiktene kan man se plater, større blokker eller prizmer. Strukturløs jord er enten massiv eller består av enkeltkorn (sand og grus). Mellom strukturaggregatene er det sprekker eller porer. Jo bedre graden av strukturutvikling er, jo større er porene. Aggregatenes form og størrelse har betydning for porenes fordeling og kontinuitet (se beskrivelse av vanlige strukturaggregater i tabellen under, fra 8).

Form	Vanlig størrelse	Beskrivelse
Gryn og korn	1 – 10 mm i diam.	Små avrundete aggregater som først og fremst opptrer i humussjikt (A-sjikt)
Blokk	10 – 100 mm i diam.	Tilnærmet terningformet, enten med skarpkantete eller avrundete hjørner
Plate	1 – 50 mm tykk	Plater som er orientert i horisontalplanet
Prisme og søyle	50 – 500 mm i diam.	Tilnærmet likesidet i horisontalplanet, men vertikalaksen er lengst. Søylar har avrundet topp.

Porevolum er prosentandelen med porer i et volum uforstyrret jord. Porevolumet omfatter alt fra mikroporer (porer mellom mineralpartikler) til makroporer (sprekker, meitemarkganger etc.). Leirjord har, på grunn av leirpartiklene, et stort mikroporevolum. Leirjord med godt utviklet jordstruktur har i tillegg et stort makroporevolum.

Jordtetthet er det samme som volumvekt. Jordtettheten er påvirket av porevolumet, materialtettheten til mineralpartiklene og innhold av organisk materiale. I godt omdannet organisk jord kan jordtettheten være lavere enn $0,1 \text{ g/cm}^3$ og i leirjord som er relativt fri for organisk materiale ligger den vanligvis mellom $1,5$ og $1,7 \text{ g/cm}^3$.

I profildataene under representerer volumprosent vann ved metning det totale porevolumet. Dette er en tilnærming siden noen porer kan være utilgjengelig for vann og fordi vann fra mineralenes krystallstruktur også kan fjernes ved tørking av jordprøven. I realiteten er forskjellen svært liten. Profildataene viser at plogsjiktene har høyest porevolum og lavest jordtetthet. Årsaken er innhold av organisk materiale og jorda blir løsere og mer porøs av jordarbeiding. Sjiktet under plogsjiktet har lavere porevolum og høyere jordtetthet. Porevolumet er lavere grunnet lavere andel makroporer, mens jordtettheten er høyere både på grunn av lavere porevolum og lavere innhold av organisk materiale. I tillegg er dette sjiktet ofte blitt mekanisk komprimert (plogsåle). I sjiktene videre nedover øker vanligvis porevolumet igjen grunnet høyere leirinnhold og flere mikroporer, mens jordtettheten holder seg på samme nivå eller avtar litt hvis jorda har plogsåle. I sjiktene mellom 50 og 100 cm dybde er porevolumet mellom 37 og 51 prosent mens jordtettheten hovedsakelig ligger mellom $1,5$ og $1,7 \text{ g/cm}^3$.

5.6. Mettet vannledningsevne

Mettet vannledningsevne er jordas maksimale evne til å lede vann, det vil si når porene er helt fylt av vann. Vannledningsevnen er målt i uforstyrrete sylinderprøver og verdien representerer kun jorda i sylindren. Ved å måle flere sylindre fra samme sjikt vil en få en gjennomsnittlig verdi som er representativ for sjiktet. For å vurdere hele jordsmonnets vannledningsevne må alle sjiktene sees i sammenheng og sjiktens rekkefølge, tykkelse og grenseforhold må tas med i betraktningen. I naturen vil mye vanntransporten foregå i umettet tilstand, det vil si vannet følger poreveggene uten å fylle hele porevolumet.

Vannledningsevnen er størst når jorda har mange kontinuerlige makroporer. Disse finnes ofte i E- og B-sjikt med prisme eller blokkstruktur. I sjikt med platestruktur er porene mer horisontalt orientert og ikke så kontinuerlige. Jord med stor biologisk aktivitet kan ha bioporer som går igjennom strukturaggregatene. I massive sjikt vil vanntransporten følge mindre porer som igjen vil føre til en lavere hastighet. I denne sammenhengen er nettopp denne situasjonen som er mest ideell.

Analysedataene fra profilene under viser stor variasjon i mettet vannledningsevne. Profil 5 og 9 representerer litt spesielle situasjoner med stor biologisk aktivitet og god strukturutvikling. Profil 5 kommer fra et jorde hvor det er praktisert redusert jordarbeiding i mange år. Profil 9 kommer fra et husdyrbruk hvor naturgjødsel er blitt tilført. I begge tilfellene går B-sjiktene dypere enn 100 cm og det er målt svært høye verdier for mettet vannledningsevne (henholdsvis 39,8 og 49,8 cm/h i det dypeste sjiktet). Ser vi kun på de massive BC- eller C-sjiktene, ligger de målte verdiene fra 0,14 til 0,01 cm/h.

5.7. Vannlagringsevne

Når jorda er vannmettet er alle tilgjengelige porer fylt med vann. Hvis ikke nytt vann blir tilført vil jorda miste en del av porevannet, først på grunn av gravitasjonen som raskt tømmer makroporene. Noe vann vil bli transportert mot overflata av kapillære krefter for å erstatte vann som fordamper. En stor del av vannet blir tatt opp av planter mens vannet i mikroporene forblir utilgjengelig. En pF-kurve viser hvor mange volumprosent vann som tapes ved økende sug, eller negativt trykk. Denne kurven kan baseres på målinger i laboratoriet, eller modelleres ut ifra andre jordparametre. Ved praktisk bruk av kurven er det vanlig å si at pF 2 er jordas feltkapasitet, det vil si vanninnholdet som er igjen etter at gravitasjonen har tatt sitt. pF 4,2 er visnepunktet, det vil si vanninnholdet i mikroporene som plantene ikke kan trekke ut. Forskjellen mellom disse to punktene på kurven kalles plantetilgjengelig vann.

Som sagt tidligere inneholder leirjord en stor andel mikroporer. Det vil si at en stor andel av vannvolumet er adsorbert til leirpartiklene og er derfor utilgjengelig for planter. Planter kan oppleve tørkestress i leirjord selv når halvparten av porevolumet er fylt med vann. I følge profildataene under er 50 til 60 prosent av vannvolumet i plogsjiktet tilgjengelig for plantene mens 20 til 40 prosent er utilgjengelig. Ser vi på sjiktene mellom 50 og 100 cm dybde er situasjonen motsatt. Bortsett fra profil 6, som har lavest leirinnhold, er andelen adsorbert vann i disse sjiktene mellom 51 og 71 prosent av mettet vannvolum.

Den totale vannlagringsevnen er omtrent lik porevolumet, det vil si, for de fleste profilene, mellom 40 og 50 volumprosent i sjiktene mellom 50 og 100 cm dybde. Når det aktuelle vanninnholdet nærmer seg metningsgrensen, vil leira gå over fra plastisk konsistens til flytende. Denne grenseverdien kalles øvre plastisitetsgrense. Nedre plastisitetsgrense markerer overgangen fra plastisk konsistens til fast. Når vanninnholdet er lavere enn denne grensen, kan leira ikke lenger formes, og ved oppfukning vil den ofte smuldre opp. Svendgård (5) målte disse verdiene i jordsmonn utviklet i marin leire fra Østlandet og Trøndelag. I sjiktene ned mot 100 cm dybde i Østlandsprofilene varierte øvre plastisitetsgrense mellom 30 og 50 prosent mens den nedre grensen lå mellom 18 og 27 prosent.

6. VEGETASJON

I Østfold er det meste av arealet med marin leire dyrket opp. Et grovt estimat basert på Skog og landskaps jordundersøkelser i skog, sier at rundt 10 prosent av den produktive skogen i fylket står på marin leire (4 av 39 prøvelokaliteter). I følge Sauer et al (4) var vegetasjonen på fem leirjordslokaliteter i skog dominert av gran og småbregner. Rotutviklingen var grunn og det var observert rotvelt på alle lokalitetene.

På dyrka mark finner man de fleste planterøttene i plogsjiktet. Noen få røtter kan finne veien ned i sprekkene i sjiktene under men ingen røtter kan trenge ned i den massive leira. Det samme kan en se i skog. De største røttene finner man i de øvre sjiktene (humussjikt og utvaskingssjikt) mens få og vanligvis små røtter kan følge sprekker videre nedover. Inne i strukturaggregatene og i den massive undergrunnsleira er det ingen røtter.

7. KONKLUSJON OG ANBEFALING

Bevaring av helleristninger ved tildekking med masser krever, i følge dokument (summary) av Berg et al, at massen har nøytral pH, lav permeabilitet, høy vannlagringsevne (skal ikke tørke ut) og en god stabilitet. Den skal verne fjelloverflaten fra humussyrer og ikke inneholde salter. I dette dokumentet er jordsmonnutvikling i marin leire beskrevet. Fysiske, kjemiske og morfologiske egenskaper er beskrevet og dokumentert med representative data fra jordprofil fra Østfold og tilgrensende fylker med samme type jordforhold. Ut ifra de krav som stilles, anbefaler jeg at leirmassene som brukes, ikke tas fra den øvre del av jordsmonnet. Leirmasser som er grunnvannspåvirket bør også unngås siden de ofte er vannmettet og kan inneholde salter. Dette gjelder spesielt for områdene utenfor Raet. Blant eksempelprofilene i dette dokumentet er det tatt med to eksempler fra planert leire. Planert leire har ofte dårlige agronomiske egenskaper, men viser her de samme egenskapene som kreves av fyllmaterialet. De samme egenskapene ser vi også i dypereleggende sjikt i uplanert leirjord, og da spesielt Albeluvisols og Stagnosols. Disse egenskapene er:

- Leirinnhold over 30 prosent og lavt innhold av sand.
- En pH som er nøytral (eksemplene har median på 6,9), høy kationbyttekapasitet og basemetning rundt 80 prosent (leire hvor saltene ikke er vasket ut har ofte 100 prosent basemetning).
- Relativt fri for organisk karbon.
- Nøytral pH i leire som ikke er vannmettet (i disse tilfellene kunstig drenert) og et ubetydelig innhold av organisk karbon, kan utelukke tilstedeværelse av oksiderbare sulfider.
- Høyt porevolum men få eller ingen makroporer. Jorda er strukturløs (massiv) eller består av grove prismer.
- Svært lav vannledningsevne (lav permeabilitet).
- Høy vannlagringsevne (40 – 50 prosent) hvor over halvparten av vannvolumet er adsorbert til leirpartiklene.
- Et naturlig vanninnhold som ligger innenfor leiras plastisitetsgrenser.

Fyllmasser som ikke er overmettet av vann vil være ganske stabile og samtidig relativt lett å komprimere. Hvis leirmassen har for lavt vanninnhold vil den smuldre og danne klumper som ikke lar seg komprimere så lett uten at det dannes hulrom eller porer. En massiv leire som er overdekt av et isolerende lag for å hindre fordamping og frost, vil holde på fuktigheten i svært lang tid. Planterøtter kan ikke trenge ned i massiv leire. Mark og gravende insekter kan imidlertid grave i leire hvis forholdene er rette, og bane vei for røtter og humusstoffer.

Som nevnt før vil jeg anbefale å bruke undergrunnsleire fra en Albeluvisol eller Stagnosol. Disse jordsmonnene ligger over grunnvannsnivå og det meste av sjøsaltene er vasket ut. Gleysols bør unngås grunnet mulig innhold av salter. Planerte områder bør også unngås siden leirmassene kan inneholde organisk materiale fra det originale humussjiktet. Blant vedleggene er det kart som grovt viser utbredelsen av de nevnte jordsmonntypene i Østfold. Detaljerte kart kan lastes ned fra Skog og landskaps nettsider (7).

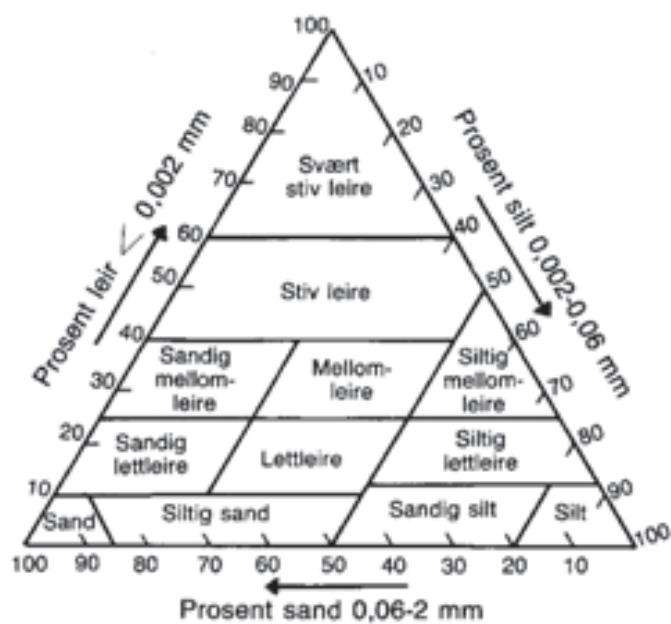
Leira som er brukt som fyllmasse i E6-prosjektet kommer fra Borge i Fredrikstad, et område som er dominert av Stagnosols og hvor Gleysols og planert leire har liten utbredelse. Uten å vite den eksakte lokaliteten der leira er tatt ut, kan jeg, ut ifra informasjonen jeg har fått tilsendt, anta at det er stor sjanse for at denne leirjorda ligner på profil 8 i datasettet under. Denne leira innehar alle egenskapene som er listet opp i kulepunktene over.

REFERANSER

- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report 103. FAO, Roma.
- Njøs, A. & Sveistrup, T. E., 1984. Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. Revidert forslag til klassifisering. Jord og myr 8, s. 8-15.
- Nyborg, Å. A., Solbakken, E., Svendgård-Stokke, S., Lågby, R., Klakegg, O. & Sperstad, R., 2008. Jordsmonnatlas for Østfold. Beskrivelse og klassifikasjon av jordsmonnet på dyrka mark. Atlas fra Skog og landskap 01/08. (under trykking)
- Sauer, D., Schüllli-Maurer, I., Sperstad, R., Sørensen, R. & Stahr, K., 2007. Albeluvisol development with time in loamy marine sediments of SW-Norway. Quaternary International 167/168 (Supplement 1): 365.
- Svendgård, S, 1996. Erosjonsrisiko på dyrket mark ut i fra jordas egenskaper. En sammenligning av jordtyper i Trøndelag og på Østlandet. Hovedoppgave ved IJVF, NLH.
- Tiberg, E. (ed), M.H. Greve, A. Helweg, M. Yli-Halla, O.M. Eklo, Å. A. Nyborg, E. Solbakken, I. Øborn and J. Stenstrøm, 1998. Nordic Reference Soils 1. Characterization and Classification of 13 Typical Nordic Soils. 2. Sorption of 2,4-D, Atrazine and Glyphosate. TemaNord 1998:537. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Link til jordsmonnkart, http://www.skogoglandskap.no/kart/jordsmonnkart_og_statistikk
- Greve, M. H., R. Sperstad & Å. A. Nyborg, 1999. Retningslinjer for beskrivelse av jordprofil. Versjon 1.0. NIJOS rapport 37/99

Vedlegg

Norsk teksturtrekant etter Njøs og Svestrup (2)



Profildata: morfologi, mekanisk sammensetning og kjemiske data

Sjikt	Dybde (cm)	Struktur	Tekstur	Sand (%)	Silt (%)	Leir (%)	Org.C (%)	pH (H ₂ O)	CEC (meq/100g)	B.met (%)
Profil 1: Albeluvisol, Ås										
Ap	0-26	Blokk/ gryn	Siltig mellomleire	13	60	27	1,9	6,6	14,4	71
Eg/ Bt	26-34	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	10	57	33	0,4	5,7	12,9	63
Bt	34-71	Prisme/ blokk	Siltig mellomleire	6	55	39	0,3	6,6	17,8	83
BCg	71+	Massiv	Siltig mellomleire	9	53	38	0,3	7,1	16,7	85
Profil 2: Albeluvisol, Ås										
Ap1	0-10	Gryn	Mellomleire	26	47	27	3,1	5,5	16,8	38
Ap2	10-22	Blokk	Mellomleire	25	48	27	2,9	5,5	16,4	41
Eg	22-48	Plate/ blokk	Siltig lettleire	25	57	18	0,4	5,6	6,8	42
Btg	48-70	Prisme	Siltig mellomleire	17	53	30	0,3	6,0	12,5	72
Cg	70+	Massiv	Mellomleire	13	48	39	-	6,7	16,0	82
Profil 3: Albeluvisol, Råde										
Ap	0-25	Blokk	Mellomleire	39	35	25	4,1	6,4	20,2	73
Eg/ Btg	25-45	Prisme/ blokk	Mellomleire	26	41	33	1,2	6,6	15,8	76
Btg	45-80	Prisme/ blokk	Mellomleire	12	47	41	0,3	7,2	12,6	85
BC	80+	Prisme	Siltig mellomleire	13	50	36	0,3	7,4	12,3	77
Profil 4: Albeluvisol, Hønefoss										
Ap	0-37	Blokk/ gryn	Lettleire	43	40	17	1,7	6,9	19,1	84
Eg	37-62	Plate	Siltig mellomleire	6	67	28	0,2	6,6	10,4	74
Btg	62+	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	1	65	34	0,1	6,7	12,9	77

Profil 5: Albeluvisol, Ås										
Ap1	0-18	Blokk	Siltig mellomleire	Ingen tilgjengelige data						
Ap2	18-29	Plate/ plogsåle	Siltig mellomleire							
E	29-38	Plate	Siltig mellomleire							
Btg	38-58	Plate/ blokk	Siltig mellomleire							
Bg	58-100	Blokk	Siltig mellomleire							
Profil 6: Stagnosol, Lier										
Ap1	0-15	Blokk/gryn	Siltig lettleire	5	70	24	1,3	6,5	11,6	75
Ap2	15-36	Plate/ blokk	Siltig lettleire	5	71	24	1,1	6,7	10,9	83
Btg	36-55	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	2	71	27	0,1	7,1	9,2	85
BCg	55-71	Plate	Siltig mellomleire	1	72	27	0,2	6,9	8,8	85
C	71+	Massiv	Siltig lettleire	1	75	24	0,1	6,9	7,9	83
Profil 7: Stagnosol, Rakkestad										
Ap	0-28	Blokk/ gryn	Siltig mellomleire	11	56	33	3,3	6,8	22,1	82
Eg	28-43	Plate	Siltig mellomleire	7	58	35	0,4	5,8	13,6	58
Btg	43+	Prisme/ massiv	Stiv leire	2	44	54	0,4	6,6	21,8	82
Profil 8: Stagnosol, Ås										
Ap1	0-23	Blokk/gryn	Siltig mellomleire	7	56	37	2,3	6,1	16,9	59
Ap2	23-33	Blokk	Siltig mellomleire	4	50	47	0,4	6,9	19,8	85
Btg	33-54	Prisme/ blokk	Siltig mellomleire	3	58	39	0,3	7,1	17,4	85
BC	54+	Blokk/ massiv	Siltig mellomleire	4	53	44	0,4	7,4	15,7	86

Profil 9: Stagnosol, Ås										
Ap	0-27	Blokk	Siltig mellomleire	Ingen tilgjengelige data						
Bg1	27-35	Prisme	Siltig mellomleire							
Bg2	35-68	Prisme	Siltig mellomleire							
Bg3	68-83	Prisme/ blokk	Siltig mellomleire							
Profil 10: Stagnosol, Sarpsborg										
Ap	0-23	Blokk/gryn	Mellomleire	17	46	37	2,6	-	26,0	-
Btg	23-30	Blokk	Stiv leire	6	35	59	0,9	-	23,8	-
Bg	30-90	Prisme/ blokk	Svært stiv leire	3	34	63	0,2	-	21,6	-
BC	90+	Blokk/ massiv	Svært stiv leire	3	34	63	0,1	-	22,5	-
Profil 11: Vestby										
Ap	0-25	Blokk/gryn	Siltig lettleire	18	58	24	3,5	-	22,5	-
BE	25-35	Blokk	Siltig lettleire	15	61	24	1,6	-	17,0	-
Btg1	35-70	Blokk	Siltig mellomleire	5	62	33	0,4	-	20,4	-
Btg2	70+	Plate	Siltig mellomleire	4	61	35	0,4	-	20,3	-
Profil 12: Planert leire, Ås										
Ap	0-10	Blokk	Siltig mellomleire	9	64	26	1,5	6,0	12,6	59
A/B	10-13	Blokk	Siltig lettleire	14	64	23	0,6	6,0	10,7	53
Cg1	13-50	Massiv	Siltig mellomleire	1	57	42	0,3	7,1	14,4	84
Cg2	50+	Massiv	Siltig mellomleire	1	54	45	-	7,6	14,9	86
Profil 13: Planert leire, Skedsmo										
Ap	0-30	Blokk	Siltig mellomleire	4	68	29	1,7	-	34,8	-
Cg	30-150	Massiv	Siltig mellomleire	0	60	40	0,3	-	-	-

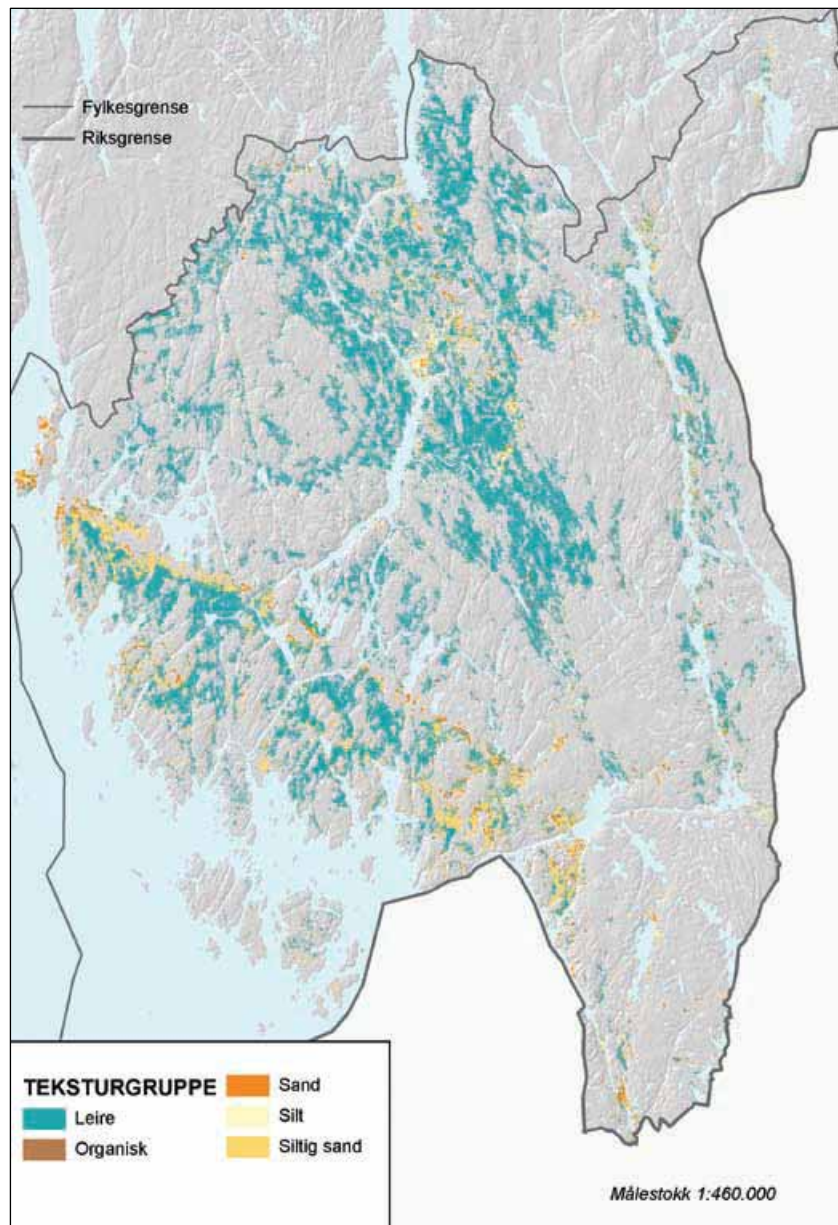
Profildata: enkel morfologi og jordfysiske data

sjikt	sjikt- dybde	struktur	tekstur	Jord- tetthet (g/cm ³)	Mett. vannl. evne (cm/h)	Vol.% Vann ved metning	Vol.% vann Feltkap. (pF2)	Vol.% vann adsorb (pF4,2)	Til- gjengelig vann (%)
Profil 1: Albeluvisol, Ås									
Ap	0-26	Blokk/ gryn	Siltig mellomleire	1,32	6,13	49,6	37,1	15,5	21,6
Eg/ Bt	26-34	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	1,75	2,38	39,4	35,2	20,1	15,1
Bt	34-71	Prisme/ blokk	Siltig mellomleire	1,62	12,63	40,9	35,3	22,6	12,7
BCg	71+	Massiv	Siltig mellomleire	1,75	0,01	40,8	36,7	25,2	11,5
Profil 2: Albeluvisol, Ås									
Ap1	0-10	Gryn	Mellomleire	Ingen tilgjengelige fysiske data					
Ap2	10-22	Blokk	Mellomleire						
Eg	22-48	Plate/ blokk	Siltig lettleire						
Btg	48-70	Prisme	Siltig mellomleire						
Cg	70+	Massiv	Mellomleire						
Profil 3: Albeluvisol, Råde									
Ap	0-25	Blokk	Mellomleire	1,40	6,4	49,4	45,1	15,2	30,0
Eg/ Btg	25-45	Prisme/ blokk	Mellomleire	1,75	18,2	39,6	35,3	19,8	15,4
Btg	45-80	Prisme/ blokk	Mellomleire	1,66	31,4	42,5	37,4	22,8	14,6
BC	80+	Prisme	Siltig mellomleire	1,68	0,1	43,9	39,3	22,2	17,1
Profil 4: Albeluvisol, Hønefoss									
Ap	0-37	Blokk/ gryn	Lettleire	1,44	0,75	44,6	35,6	10,1	25,5
Eg	37-62	Plate	Siltig mellomleire	1,66	5,30	36,4	30,2	15,1	15,0
Btg	62+	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	1,66	134	37,1	33,2	20,4	12,8
Profil 5: Albeluvisol, Ås									
Ap1	0-18	Blokk	Siltig mellomleire	-	-	-	-	-	-
Ap2	18-29	Plate/ plogsåle	Siltig mellomleire	1,37	11,6	45,7	40,8	19,0	21,8
E	29-38	Plate	Siltig mellomleire	1,65	30,3	34,2	29,7	12,9	16,8
Btg	38-58	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	1,66	41,6	34,3	31,4	17,3	14,1
Bg	58- 100	Blokk	Siltig mellomleire	1,63	39,8	37,1	35,2	21,7	13,5

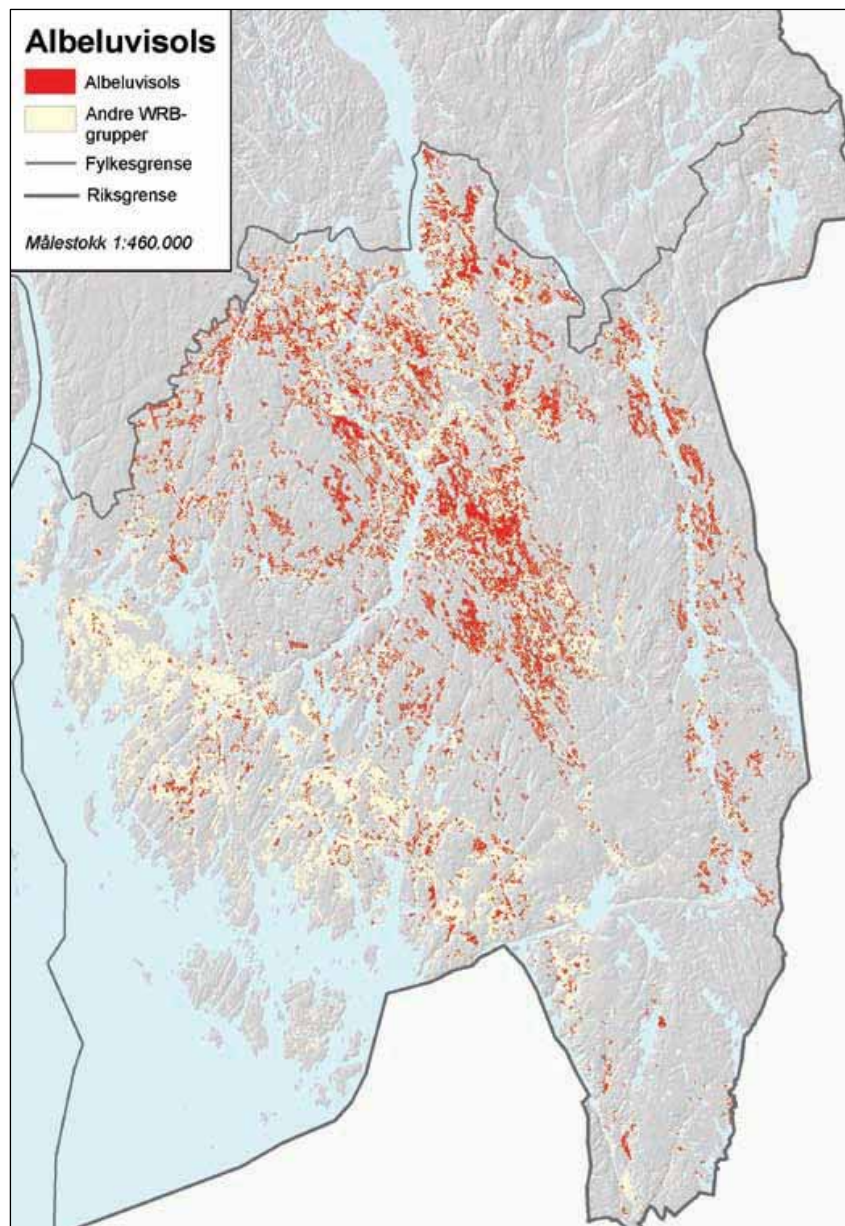
Profil 6: Stagnosol, Lier									
Ap1	0-15	Blokk/gryn	Siltig lettleire	1,47	0,92	45,0	37,8	11,2	26,6
Ap2	15-36	Plate/ blokk	Siltig lettleire	1,58	2,74	45,1	38,0	11,9	26,1
Btg	36-55	Plate/ blokk	Siltig mellomleire	1,65	0,46	44,8	34,7	14,7	20,0
BCg	55-71	Plate	Siltig mellomleire	-	-	-	-	-	-
C	71+	Massiv	Siltig lettleire	1,67	0,07	43,5	35,5	14,2	21,3
Profil 7: Stagnosol, Rakkestad									
Ap	0-28	Blokk/ gryn	Siltig mellomleire	1,16	9,90	54,7	42,6	14,1	28,5
Eg	28-43	Plate	Siltig mellomleire	1,62	59,32	39,3	36,1	18,5	17,6
Btg	43+	Prisme/ massiv	Stiv leire	1,56	0,13	45,4	42,6	27,2	15,4
Profil 8: Stagnosol, Ås									
Ap1	0-23	Blokk/gryn	Siltig mellomleire	1,26	9,46	53,6	40,2	15,3	24,9
Ap2	23-33	Blokk	Siltig mellomleire	-	-	-	-	-	-
Btg	33-54	Prisme/ blokk	Siltig mellomleire	1,61	0,02	43,1	39,6	25,2	14,4
BC	54+	Blokk/ massiv	Siltig mellomleire	1,62	0,14	43,2	38,5	28,6	10,0
Profil 9: Stagnosol, Ås									
Ap	0-27	Blokk	Siltig mellomleire	1,20	4,8	51,5	47,5	17,9	29,6
Bg1	27-35	Prisme	Siltig mellomleire	1,68	370	38,2	33,9	20,9	13,0
Bg2	35-68	Prisme	Siltig mellomleire	1,67	493	36,0	32,0	21,8	10,2
Bg3	68-83	Prisme/ blokk	Siltig mellomleire	1,62	49,8	37,3	34,0	23,8	10,2
Profil 10: Stagnosol, Sarpsborg									
Ap	0-23	Blokk/gryn	Mellomleire	1,46	-	47	42	16	26
Btg	23-30	Blokk	Stiv leire	1,55	-	46	43	31	12
Bg	30-90	Prisme/ blokk	Svært stiv leire	1,47	-	49	45	34	11
BC	90+	Blokk/ massiv	Svært stiv leire	1,49	-	51	48	36	12
Profil 11: Stagnosol, Vestby									
Ap	0-25	Blokk/gryn	Siltig lettleire	1,13	-	52	37	12	25
BE	25-35	Blokk	Siltig lettleire	1,49	-	41	37	13	24
Btg1	35-70	Blokk	Siltig mellomleire	1,59	-	37	31	18	13
Btg2	70+	Plate	Siltig mellomleire	1,58	-	41	31	22	9

Profil 12: Planert leire, Ås									
Ap	0-10	Blokk	Siltig mellomleire	Ingen tilgjengelige fysiske data					
A/B	10-13	Blokk	Siltig lettleire						
Cg1	13-50	Massiv	Siltig mellomleire						
Cg2	50+	Massiv	Siltig mellomleire						
Profil 13: Planert leire, Skedsmo									
Ap	0-30	Blokk	Siltig mellomleire	1,50	-	47	40	15	25
Cg	30-150	Massiv	Siltig mellomleire	1,84	-	40	38	27	11

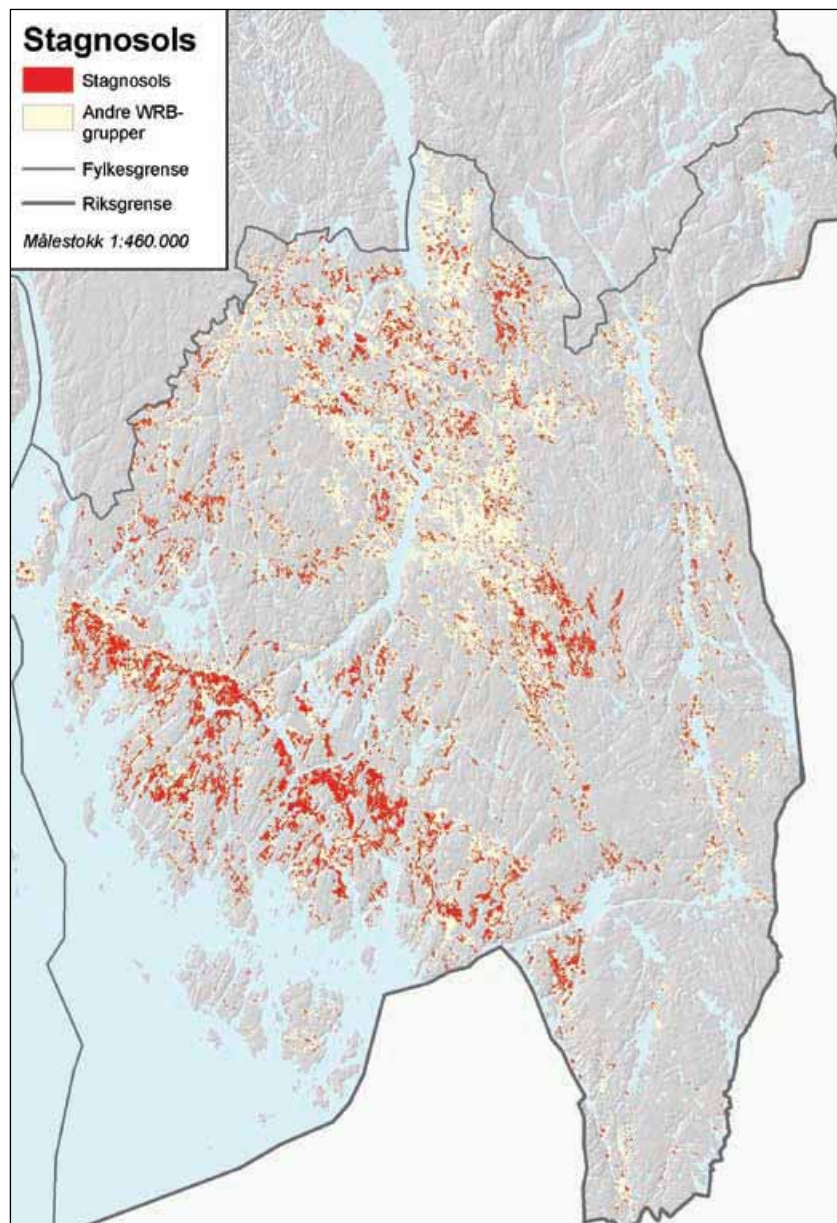
Tekstur i plogsjiktet på dyrka mark i Østfold



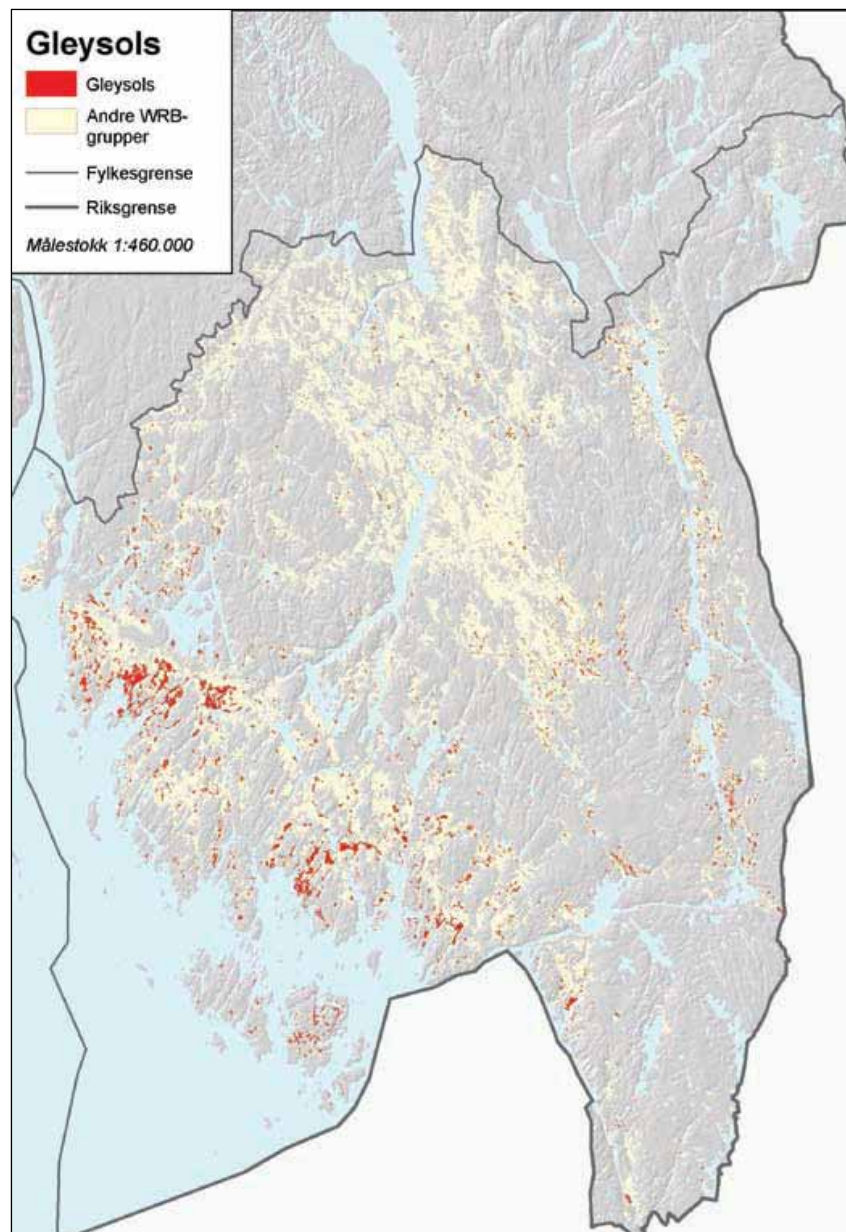
Utbredelse av Albeluvisols på dyrka mark i Østfold



Utbredelse av Stagnosols på dyrka mark i Østfold



Utbredelse av Gleysols på dyrka mark i Østfold



Utbredelse av planert jord på dyrka mark i Østfold

